

О.Г. Доценко

Інститут державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту, Київ, Україна

МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ЕВАКУАЦІЇ ЗМІШАНИХ ПОТОКІВ ЛЮДЕЙ РІЗНИХ ГРУП МОБІЛЬНОСТІ

Проаналізовано сучасний стан щодо дослідження евакуації змішаного потоку людей з наявністю в ньому осіб різних груп мобільності. Розроблено проєкт методики та проведено експериментальні дослідження евакуації змішаного потоку людей різних груп мобільності. Розглянуто варіанти формувань людських потоків з наявністю в них маломобільних груп населення М3 та М4 з різними відсотковими співвідношеннями.

Ключові слова: *маломобільні групи населення, евакуаційний потік, евакуація, щільність потоку, люди з інвалідністю.*

Постановка проблеми

Евакуація людей з різним рівнем мобільності є важливим аспектом планування та координації дій в умовах надзвичайних ситуацій. Забезпечення ефективною та безпечною евакуації для маломобільних осіб, дітей, літніх людей, а також інших вразливих груп населення вимагає спеціалізованих стратегій та рішень. У сучасному світі, коли ми стикаємося з різноманітними загрозами: від природних катастроф до терористичних актів – ефективна методика евакуації змішаного потоку людей з різним рівнем мобільності є вирішальною для забезпечення безпеки та мінімізації втрат життя.

Одним з найважливіших завдань розвитку суспільства є повага до прав та гідності кожної особи, що передбачає зосередження уваги на всіх верствах населення, зокрема на вразливих та хворих людях. Це включає маломобільні групи осіб, які можуть потребувати допомоги у пересуванні, отриманні послуг, необхідної інформації або орієнтуванні в просторі. Гуманне та демократичне суспільство визнає їхні потреби та забезпечує відповідні умови для їхньої повноцінної участі у житті суспільства.

Нині основним документом, що встановлює правила розрахунків часу евакуації людей, є ДСТУ 8828:2019 «Пожежна безпека. Загальні положення». Проте він має загальний характер і не надає докладних вказівок або методичних рекомендацій щодо врахування різних груп мобільності при розрахунках. Вказані вимоги до розрахунків евакуації враховують лише ідеальну ситуацію однорідного потоку людей. Тобто документ передбачає можливість розрахунку лише для однієї групи мобільності. Однак, якщо ми стикаємося з реальною ситуацією, коли в приміщенні присутні особи з різними рівнями мобільності (групи М2, М3, М4) або немобільні особи, які не можуть

пересуватися без допомоги, ДСТУ не надає необхідних рекомендацій. Це особливо важливо у медичних закладах, де неможливо виключити присутність немобільних осіб через специфіку діяльності цих установ. Таким чином, ДСТУ, хоч і є основним документом, залишає питання евакуації різних груп населення без належної уваги та конкретних рекомендацій.

Проведення досліджень із зазначеної тематики може розкрити проблеми та визначити оптимальні шляхи забезпечення захисту та підтримки людей різних груп мобільності для створення суспільного середовища рівних можливостей.

Проведення експериментів спрямовано на вдосконалення вимог пожежної безпеки до евакуаційних шляхів і виходів шляхом встановлення закономірностей руху людських потоків, що складаються з людей різних груп мобільності.

Таким чином, розроблення методики експериментальних досліджень евакуації змішаного потоку людей з наявністю в ньому осіб різних груп мобільності як наукового підґрунтя для вдосконалення методики розрахунку за допомогою експериментальних даних для маломобільних груп населення є актуальною науковою задачею.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

У попередніх роботах автора досліджено максимально наближену до реальної ситуацію – неанонсовану евакуацію, коли ні персонал, ні відвідувачі не знали про її навчальні цілі. Відеокамери фіксували поведінку людей та рух людських потоків з моменту спрацювання системи сповіщення до моменту виходу з будівлі та завершення евакуації людей із пожежобезпечних зон пожежно-рятувальними підрозділами. Отримано дані руху евакуації відвідувачів, котрі пересувалися на кріслах колісних з найвіддаленішої точки до пожежобезпечних зон, з яких проводилась

евакуація. Встановлено загальний час евакуації відвідувачів, які пересувались на кріслах колісних, в який входить час прямування до пожежобезпечної зони, час очікування на пожежно-рятувальні підрозділи та евакуація із пожежобезпечних зон. Встановлено час евакуації людей, які пересуваються на кріслах колісних із пожежобезпечних зон, за допомогою пожежно-рятувальних підрозділів. Отримано дані щодо евакуації осіб, які пересуваються лише на кріслах колісних, із пожежобезпечних зон пожежно-рятувальними підрозділами за допомогою пожежних ліфтів в умовах, наближених до реальних. Визначено залежності швидкості руху людських потоків під час евакуації від перебування в них осіб з інвалідністю, які пересуваються на кріслах колісних, та розраховано їх щільність на різних ділянках шляху. За результатами проведеного експерименту відкориговано план евакуації з будівлі, досліджено навички персоналу щодо їх дій в умовах пожежі [1].

Аналіз наукових праць, як вітчизняних, так і зарубіжних дослідників, відображає актуальні тенденції та підходи у питаннях евакуації людей. Вчені досліджують різні аспекти евакуації, включаючи рух та поведінку людей під час надзвичайних ситуацій, вплив фізичних обмежень та психологічних чинників на процес евакуації, розробку та вдосконалення методів моделювання та аналізу, а також розробку технічних рішень та інженерних систем для підвищення ефективності та безпеки евакуаційних заходів.

Досліджено питання моделювання евакуації з особливим акцентом на людей з обмеженими можливостями. Представлено огляд різних програм для моделювання евакуації [2]. Також дослідження проводилися головним чином для того, щоб побачити, які обмеження мають різні програми та як вони ставляться до пасажирів з обмеженими можливостями [3]. Аналізи містять дослідження шести випадків евакуації з будівлі. У цьому дослідженні розглядаються три наступні програми: SIMULEX, STEPS і Pathfinder. Моделювалися різні варіації людей з порушенням мобільності. Порівняно методології при використанні цих трьох програм. Дослідження показали, що незважаючи на однакові вхідні дані, результати, отримані за допомогою трьох програм, значно відрізняються. У випадку загального часу евакуації відмінності сягають до 8%.

Науковці з Німеччини та Канади у своїй роботі [4] провели 12 досліджень, у яких брали участь 252 учасники з видимими вадами та без них, які рухалися разом у натовпі. У кожному дослідженні групи учасників пересувались вздовж коридору зі звуженням шляху в кінці. Були проаналізовані момент прийняття швидкості, відстані між учасниками та поведінкові дії. Автори виявили, що учасники з обмеженими можливостями знизили свою швидкість далі від вузького місця, ніж учасники без обмежених можливостей.

Зазначено, що учасники без інвалідності перебували ближче до учасників з інвалідністю, ніж до учасників без інвалідності. Всі вони взаємодіяли та спілкувалися один з одним, щоб організувати роботу перед вузьким місцем. Результати проведених досліджень підкреслили важливість вивчення репрезентативних і гетерогенних вибірок у динаміці натовпу. А також виявили необхідність проведення подальших досліджень для кращого розуміння динаміки взаємодії між сусідами в натовпі, що покращить валідність інструментів моделювання, таких як моделі руху та евакуації.

Науковцями з Китаю в рамках своїх досліджень евакуації змішаних потоків людей проведено експерименти за участю змішаних груп людей з різними видами інвалідності, враховуючи інвалідність по зору, слуху, фізичні вади, психічні вади, інтелектуальні, та осіб без інвалідності і їх порівняння з групами людей похилого віку [5]. Ними проаналізовано особливості руху змішаних потоків людей на горизонтальних шляхах евакуації, а саме коридорах. Результати показали, що люди з психічними та інтелектуальними вадами мали вищу швидкість руху, ніж решта натовпу. При аналізі отриманих результатів було встановлено, що діапазон щільності змішаного потоку людей з інвалідністю ($0,48-2,25 \text{ м}^2$) був вужчим, ніж у групи літніх людей ($0,27-2,64 \text{ м}^2$). В одному діапазоні густини різниця у швидкості та питомій потік між двома групами становила $0,00 \pm 0,09 \text{ (м/с)}$ і $0,04 \pm 0,11 \text{ (м/с)}$ – 1 відповідно; збільшується питомий потік змішаної групи людей з інвалідністю ($3,84 \pm 10,67$) % порівняно з групою похилого віку. Подальший аналіз показав, що час евакуації змішаного потоку групи людей з інвалідністю обернено пропорційний ширині виходу – така ж залежність, як і для групи літніх людей; потік змішаної групи людей з інвалідністю більший, ніж у людей похилого віку. Для аналізу результатів експерименту дослідниками створено кругові діаграми. Просторовий розподіл найближчої сусідньої людини для змішаної групи людей з інвалідністю має форму еліпса; із збільшенням щільності форма просторового розподілу має тенденцію до кругової. Для інвалідів на кріслах колісних та іншої частини потоку площа просторового розподілу найближчої людини зменшується зі зменшенням ширини виходу. Однак площа людей на кріслах колісних більша, ніж для інших.

Ще одна група китайських вчених досліджувала вплив осіб із обмеженою мобільністю на процеси евакуації в приміщенні [6]. Всього в експерименті брали участь 60 осіб. В експерименті було передбачено різне співвідношення (0%, 5% і 10%) людей різних груп мобільності (групи мобільності М3 та М4, відтворені учасниками експерименту, які не мали інвалідності з використанням допоміжних засобів). Для визначення та відстеження траєкторій руху учасників експерименту використовувалися

відеозаписи та алгоритм середньої швидкості. Час евакуації, швидкість, послідовність евакуації та людські потоки аналізувалися за траєкторіями руху. Встановлено, що порівняно з експериментами без наявності осіб з обмеженими можливостями, час евакуації в експериментах із наявністю осіб на кріслах колісних та милицях збільшується, а середня швидкість і питома витрата зменшуються. Просторовий розподіл, отриманий за допомогою аналізу, свідчить про те, що скупчення людей без обмежених можливостей біля виходу утворюється повільніше в порівнянні з людським потоком, в якому присутні люди, що належать до маломобільних груп, особливо це виявлялося, коли в експерименті приймали участь люди, які пересувалися на кріслах колісних.

У процесі проведеної роботи вітчизняних науковців Хлевного О.В. та Ковалишина В.В. [7–10] виконано аналіз методів розрахунку часу евакуації, регламентованих чинним законодавством, та встановлено відсутність у нормативних документах та науковій літературі даних, які б відображали закономірності руху змішаного потоку із дітей шкільного віку різних груп мобільності. Обґрунтовано необхідність формування емпіричної бази даних параметрів руху евакуаційних потоків в закладах середньої освіти з інклюзивним навчанням як наукового підґрунтя забезпечення нормування вимог пожежної безпеки до евакуаційних шляхів і виходів у цих закладах.

Важливими аспектами досліджень у їх роботах є врахування різних груп мобільності дітей різного віку у контексті планування та організації евакуації. Автори проаналізували методи розрахунку часу евакуації, які передбачені чинним законодавством. Вони прийшли до висновку, що в нормативних документах та науковій літературі відсутні дані, що відображають закономірності руху змішаного потоку дітей шкільного віку з різними рівнями мобільності.

Однак в цих працях не приділено достатньо уваги питанню евакуації змішаного потоку людей з наявністю в ньому осіб різних груп мобільності М1, М3, М4 у складі змішаних евакуаційних потоків.

Крім того, вирішення поставленої наукової задачі дасть змогу в подальшому вивести залежності середнього значення швидкості вільного руху потоку людей (V_0) і щільності потоку (D_0), після досягнення якого збільшення щільності призводить до зменшення швидкості, від кількісного складу учасників руху груп мобільності М1, М3, М4 та коефіцієнту адаптації людського потоку до зміни його щільності під час руху з різним відсотковим співвідношенням учасників груп мобільності М1, М3 та М4.

Формулювання мети статті

Метою даної статті є обґрунтування основних положень методики експериментальних досліджень

евакуації змішаного потоку людей з наявністю в ньому осіб різних груп мобільності М1, М3, М4 у складі змішаних евакуаційних потоків. Мета дослідження полягає у формуванні баз емпіричних даних параметрів руху змішаних евакуаційних потоків. Наявність цих даних дасть змогу встановити залежності між швидкістю руху учасників евакуації та щільністю потоку. Означені залежності будуть використовуватись під час розрахунку тривалості евакуації з будівель та споруд різного призначення, побудови теплових карт щільності людського потоку на різних ділянках евакуаційних шляхів; визначення часу існування скупчень біля дверних прорізів та локальних перешкод; встановлення середньої швидкості учасників евакуації.

Для досягнення поставленої мети слід вирішити такі задачі:

- обґрунтувати тип та кількість необхідного випробувального та вимірювального обладнання;
- обґрунтувати варіанти конфігурацій евакуаційних потоків з різним відсотковим співвідношенням учасників груп мобільності М1, М3 та М4;
- обґрунтувати методику евакуації змішаних потоків людей різних груп мобільності;
- опрацювати отримані дані та сформувані бази емпіричних даних для зведення їх у варіаційні ряди, впорядковані за зростанням щільності.

Виклад основного матеріалу

Експериментальні дослідження евакуації людей різних груп мобільності (М1, М3, М4) з метою формування баз емпіричних даних параметрів руху змішаних евакуаційних потоків були проведені в Львівському державному університеті безпеки життєдіяльності із залученням здобувачів вищої освіти. Імітацію поведінки учасників евакуації груп мобільності М3 та М4 було забезпечено шляхом пересування окремих учасників експерименту на опорах (милицях) та кріслах колісних.

Довжина експериментальної ділянки становить 49,91 м, ширина становить 3,07 м.

Для збору даних в процесі експерименту було використано статичну та динамічну відеореєстрацію. Відеозапис виконувався як безпосередньо учасниками експерименту (динамічна зйомка), так і з використанням стаціонарних камер відеоспостереження служби безпеки закладу освіти.

Під час експериментальних досліджень було передбачено варіанти конфігурацій евакуаційних потоків з різним відсотковим співвідношенням учасників груп мобільності М1, М3 та М4.

Кожен із варіантів конфігурації потоку передбачає проведення серії із 5 експериментів. Склад людських потоків для проведення експериментальних досліджень наведено в табл. 1.

Таблиця 1
Структура людських потоків

№ серії дослідів	Частка учасників групи М1 (%)	Частка учасників групи М3 (на опорах) (%)	Частка учасників групи М4 (на кріслах колісних) (%)
1	100	0	0
2	96,67	3,33	0
3	93,33	6,67	0
4	90	10	0
5	96,67	0	3,33
6	93,33	0	6,67
7	90	0	10
8	90	3,33	6,67
9	90	6,67	3,33
10	93,33	3,335	3,335

Для проведення експериментальних досліджень було використане таке обладнання:

- опори (милиці);
- крісла колісні;
- обладнання для фото- та відеозйомки;
- комп’ютерна техніка;
- програмне забезпечення для обробки даних;
- бар’єри для регулювання ширини проходу.

Загальна кількість учасників експерименту становила 30 осіб. З їх числа обиралися агенти (учасни-

ки експерименту, що представляли групи мобільності М3 та М4), які пересувалися на милицях або кріслах колісних. Всі інші учасники експерименту представляли групу мобільності М1 і пересувалися вільно.

В рамках кожної серії дослідів всі учасники формували єдиний потік загальною кількістю 30 учасників. Відсоткове співвідношення кількості агентів груп М3 та М4 змінювалося в межах від 3,33% до 10% від загальної кількості групи. Такі співвідношення було обрано відповідно до статистичних даних, згідно з якими на більшості житлових та громадських об’єктах (за винятком закладів охорони здоров’я та будинків догляду за людьми похилого віку) одночасно не може перебувати понад 10% осіб зі зниженою мобільністю.

Всі серії експериментів проводилися під чітким керівництвом та контролем науково-педагогічного персоналу, які несли відповідальність за безпеку здобувачів освіти. Перед початком усі учасники пройшли інструктаж з питань техніки безпеки під час проведення експерименту, мети та цілей досліджень.

Кожен експеримент розпочинався за командою організаторів, коли всі учасники та спостерігачі були готові здійснювати відеофіксацію.

Потік учасників рухався з точки 1 в точку 2 (рис. 1). На шляху руху було встановлено штучний бар’єр, що на певній ділянці евакуаційного шляху довжиною 5 м зменшував ширину коридору до 1,2 м, даючи змогу збільшити кількість емпіричних даних швидкості руху для великих значень щільності потоку.

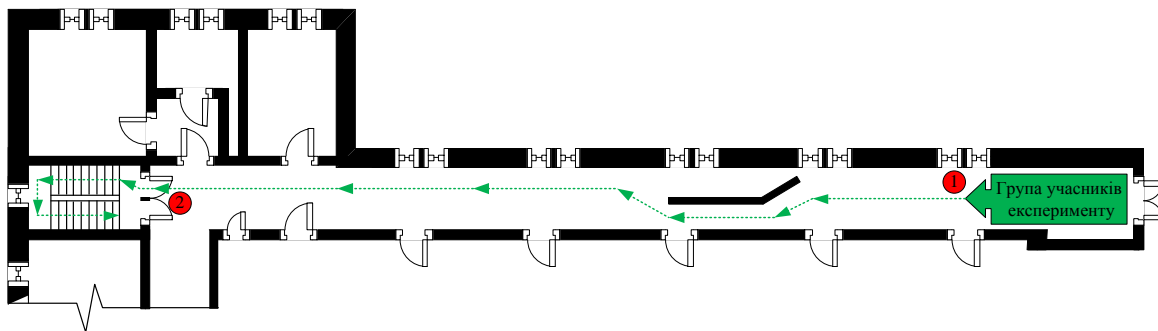


Рис. 1. Загальна схема експериментальної ділянки евакуаційного шляху

Відеозаписи експериментальних досліджень дали змогу визначити такі параметри руху учасників експерименту: щільність людського потоку на кожній ділянці, час слідування та середня швидкість учасників експерименту (динамічна відеофіксація). Записи камер відеоспостереження системи безпеки університету (статична відеофіксація) дозволили визначити значення щільності потоку та час існування скупчень перед дверним прорізом. Для збору даних було співставлено між собою записи камер, задіяних для динамічної відеофіксації [8]. На кожному замірі попарно визначалися координати двох різних учасників руху, які здійснювали відеофікса-

цію, (x_1) та (x_2) в певний момент часу t_n . Після цього визначалася відстань між ними:

$$a(t_n) = x_1(t_n) - x_2(t_n). \quad (1)$$

Потім для моменту часу t_n щільність потоку розраховувалася за формулою:

$$D(t_n) = \frac{N}{(x_1(t_n) - x_2(t_n)) \cdot b}, \quad (2)$$

де N – кількість учасників евакуації на ділянці спо-

стерезення; b – ширина ділянки руху.

Для наступного моменту часу t_{n+1} аналогічним чином визначалися дані $x_1(t_{n+1}), x_2(t_{n+1}), a(t_{n+1}), D(t_{n+1})$.

Для кожного часового проміжку між замірами було визначено середні значення швидкості (3) та щільності (4) потоку на пройденій ділянці шляху:

$$V_{сер} = \frac{1}{2} \cdot \frac{(x_1(t_{n+1}) - x_1(t_n)) + (x_2(t_{n+1}) - x_2(t_n))}{(t_{n+1} - t_n)}, \quad (3)$$

$$D_{сер} = \frac{1}{2} \cdot (D(t_n) + D(t_{n+1})). \quad (4)$$

Таким чином, кожен замір передбачав вимірювання двох параметрів: швидкості руху та відповідної їй щільності потоку. Отримані дані заносилися до бази емпіричних даних, де їх зводили у варіаційні ряди, впорядковані за зростанням щільності. Для кожного інтервалу обчислювалося математичне сподівання, яке відповідало середньому арифметичному значенню для нормального розподілу даних.

Висновки

Представлена методика експериментальних досліджень евакуації змішаних потоків людей різних груп мобільності дасть змогу створити емпіричні табличні дані щодо параметрів руху змішаних евакуаційних потоків, а саме встановити залежності між швидкістю руху учасників евакуації та щільності потоку. Отримані дані будуть використані в наступних дослідженнях евакуації змішаних потоків людей різних груп мобільності і дозволять встановити залежності швидкості руху від щільності для кожної конфігурації потоку та виведення коефіцієнта адаптації людського потоку до зміни його щільності під час руху з різним відсотковим співвідношенням учасників груп мобільності М1, М3 та М4.

Література

1. Дослідження евакуації людей різних груп мобільності з торговельно-розважального центру / В. В. Ковалишин, О. Г. Доценко, О. В. Хлевной, В. І. Дивень // Науковий вісник: Цивільний захист та пожежна безпека. – 2022. – № 2 (14). – С. 99–107. – DOI: [10.33269/nvcz.2022.2\(14\).99-107](https://doi.org/10.33269/nvcz.2022.2(14).99-107).
2. Аналіз існуючих програмних комплексів для розрахунку часу евакуації людей під час пожежі / О. М. Тесленко, С. З. Цимбалістий, Н. В. Кравченко, О. Г. Доценко, О. М. Крикун // Науковий вісник: Цивільний захист та пожежна безпека. – 2019. – № 1 (7). – С. 33–39. – DOI: [10.33269/nvcz.2019.1.33-39](https://doi.org/10.33269/nvcz.2019.1.33-39).
3. Żydek K. Evacuation Simulation Focusing on Modeling of Disabled People Movement / K. Żydek, M. Król, A. Król // Sustainability. – 2021. – Vol. 13, Issue 4. – Article 2405. – DOI: [10.3390/su13042405](https://doi.org/10.3390/su13042405).
4. How people with disabilities influence crowd dynamics of pedestrian movement through bottlenecks / P. Georg, J. Schumann, M. Boltes, M. Kinatader // Scientific Reports. – 2022. – Vol. 12. – Article 14273. – DOI: [10.1038/s41598-022-18142-7](https://doi.org/10.1038/s41598-022-18142-7).

5. Evacuation dynamics of heterogeneous crowds involving individuals with different types of disabilities / Y. You, R. Ye, Z. Fang, X. Ren, S. Xie, P. Huang, L. Yu, T. Yu, J. Yan // Safety Science. – 2023. – Vol. 168. – Article 106297. – DOI: [10.1016/j.ssci.2023.106297](https://doi.org/10.1016/j.ssci.2023.106297).
6. An experimental study on evacuation dynamics including individuals with simulated disabilities / L. Fu, H. Qin, Q. Shi, Y. Zhang, Y. Shi // Safety Science. – 2022. – Vol. 155. – Article 105878. – DOI: [10.1016/j.ssci.2022.105878](https://doi.org/10.1016/j.ssci.2022.105878).
7. Хлевной О. В. Проблемні питання розрахунку часу евакуації при пожежах у закладах дошкільної та середньої освіти з інклюзивними групами / О. В. Хлевной, Д. В. Харишин, О. Б. Назаровець // Пожежна безпека. – 2020. – Том 37. – С. 72–76. – DOI: [10.32447/20786662.37.2020.11](https://doi.org/10.32447/20786662.37.2020.11).
8. Kovalyshyn V. Primary school-aged children evacuation from secondary education institutions with inclusive classes / V. Kovalyshyn, O. Khlevnoy, D. Haryshyn // Sciences of Europe. – 2020. – No. 60. – P. 53–56. – DOI: [10.24412/3162-2364-2020-60-1-53-56](https://doi.org/10.24412/3162-2364-2020-60-1-53-56).
9. Ковалишин В. В. Визначення площі горизонтальної проекції дітей шкільного віку / В. В. Ковалишин, О. В. Хлевной // Науковий вісник: Цивільний захист і пожежна безпека. – 2020. – № 2 (10). – С. 54–60. – Режим доступу: <https://nvcz.undicz.org.ua/index.php/nvcz/article/view/96/61>, вільний (дата звернення: 05.12.23).
10. Хлевной О. В. Нормування вимог пожежної безпеки до евакуаційних шляхів і виходів у закладах середньої освіти з інклюзивним навчанням : дис. канд. техн. наук : 21.06.02 – пожежна безпека / Хлевной Александр Викторович ; Львів, держ. ун-т безпеки життєдіяльності. – Львів, 2021. – 188 с. – Режим доступу: <https://sci.ldubgd.edu.ua/jspui/handle/123456789/9860>, вільний (дата звернення: 05.12.23).

References

1. Kovalyshyn, V., Dotsenko, O., Khlevnoy, O., & Dyven, V. (2022). Study of the evacuation of people of different mobility groups from a shopping and entertainment center. *Scientific Bulletin: Civil Protection and Fire Safety*, (2(14)), 99–107. DOI: [10.33269/nvcz.2022.2\(14\).99-107](https://doi.org/10.33269/nvcz.2022.2(14).99-107) [in Ukrainian]
2. Teslenko, O., Tsymbalystyi, S., Kravchenko, N., Dotsenko, O., & Krykun, O. (2019). Analysis of existing software complexes for calculating the evacuation time of people during a fire. *Scientific Bulletin: Civil Protection and Fire Safety*, (1(7)), 33–39. DOI: [10.33269/nvcz.2019.1.33-39](https://doi.org/10.33269/nvcz.2019.1.33-39) [in Ukrainian]
3. Żydek, K., Król, M., & Król, A. (2021). Evacuation Simulation Focusing on Modeling of Disabled People Movement. *Sustainability*, 13(4), 2405. DOI: [10.3390/su13042405](https://doi.org/10.3390/su13042405)
4. Georg, P., Schumann, J., Boltes, M., & Kinatader, M. (2022). How people with disabilities influence crowd dynamics of pedestrian movement through bottlenecks. *Scientific Reports*, 12, 14273. DOI: [10.1038/s41598-022-18142-7](https://doi.org/10.1038/s41598-022-18142-7)
5. You, Y., Ye, R., Fang, Z., Ren, X., Xie, S., Huang, P., Yu, L., Yu, T., & Yan, J. (2023). Evacuation dynamics of heterogeneous crowds involving individuals with different types of disabilities. *Safety Science*, 168, 106297. DOI: [10.1016/j.ssci.2023.106297](https://doi.org/10.1016/j.ssci.2023.106297)
6. Fu, L., Qin, H., Shi, Q., Zhang, Y., & Shi, Y. (2022). An experimental study on evacuation dynamics including individuals with simulated disabilities. *Safety Science*, 155, 105878. DOI: [10.1016/j.ssci.2022.105878](https://doi.org/10.1016/j.ssci.2022.105878)
7. Khlevnoy, O. V., Kharyshyn, D. V., & Nazarovets, O. B. (2020). Problem issues of evacuation time calculation during fires in preschool and secondary education institutions with inclusive groups. *Fire Safety*, 37, 72–76. DOI: [10.32447/20786662.37.2020.11](https://doi.org/10.32447/20786662.37.2020.11) [in Ukrainian]
8. Kovalyshyn, V., Khlevnoy, O., & Haryshyn, D. (2020). Primary school-aged children evacuation from secondary

education institutions with inclusive classes. *Sciences of Europe*, (60), 53–56. DOI: [10.24412/3162-2364-2020-60-1-53-56](https://doi.org/10.24412/3162-2364-2020-60-1-53-56)

9. Kovalyshyn, V., & Khlevnoy, O. (2020). Determination of horizontal projection areas of school-age children. *Scientific Bulletin: Civil Protection and Fire Safety*, (2(10)), 54–60. Retrieved from <https://nvcz.undicz.org.ua/index.php/nvcz/article/view/96/61> [in Ukrainian]

10. Khlevnoy, O. (2021). *Standardization of fire safety requirements for evacuation routes and exits in school institutions with inclusive education* [Candidate dissertation, Lviv State University of Life Safety]. LSULS Digital Repository. Retrieved from <https://sci.ldubgd.edu.ua/jspui/handle/123456789/9860> [in Ukrainian]

Рецензент: д-р техн. наук, доц. Р.С. Яковчук, Львівський університет безпеки життєдіяльності, Україна.

Автор: ДОЦЕНКО Олександр Григорович
старший науковий співробітник відділу моделювання пожеж та надзвичайних ситуацій науково-дослідного центру протипожежного захисту Інститут державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту
E-mail – mio1488@yahoo.com
ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7437-8733>

METHOD OF EXPERIMENTAL RESEARCH OF EVACUATION OF MIXED FLOWS OF PEOPLE OF DIFFERENT MOBILITY GROUPS

O. Dotsenko

Institute of Public Administration and Research in Civil Protection, Kyiv, Ukraine

The article analyses the current state of research on the evacuation of a mixed flow of people with the presence of persons of different mobility groups (M1, M3, and M4) as part of mixed evacuation flows.

A methodology project was developed, and experimental studies were conducted on the evacuation of a mixed flow of people with the presence of persons of different mobility groups to determine the parameters of their movement, including the density of the human flow, the time of following, the delay time at the door, and the average speed of the participants of the experiment, with the subsequent calculation of the evacuation time. The methodology provides for the simulation of various options for evacuating people during a fire in a separate part of the building.

The article considers options for possible formations of human flows during evacuation when multiple M3 and M4 mobility groups are present, each with different percentage distributions. The obtained data were entered into the empirical database sorted into variational series based on increasing density. For each interval, the mathematical expectation was calculated, representing the arithmetic mean value for normal data distribution. The indicated results will make it possible to create empirical tabular data on the movement parameters of mixed evacuation flows. This data allows for the establishment of the dependence between the movement speed of the evacuation participants and the flow density. Addressing this scientific problem will facilitate the derivation of the dependence of the average value of the speed of the free movement of the flow of people (V_0) and the density of the flow (D_0), after reaching which an increase in density leads to a decrease in speed, on the quantitative composition of participants in the movement of mobility groups M1, M3, M4 and the coefficient of adaptation of the human flow to changes in its density during movement with different percentages of participants of mobility groups M1, M3, and M4.

Keywords: low-mobility population groups, evacuation flow, evacuation, flow density, people with disabilities.